



## Vindkraftværker i energisystemet

Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft

**Havsager, Jan; Sørensen, Troels; Kjær, Philip Carne; Thisted, Jan; Andresen, Björn; Højstrup, Jørgen; Kristoffersen, Jesper Runge; Koldby, Erik; Østergaard, Jacob; Petersen, John K.**

*Total number of authors:*

12

*Publication date:*

2008

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Havsager, J., Sørensen, T., Kjær, P. C., Thisted, J., Andresen, B., Højstrup, J., Kristoffersen, J. R., Koldby, E., Østergaard, J., Petersen, J. K., Sørensen, P. E., & Andersen, R. K. (2008). *Vindkraftværker i energisystemet: Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft*. MegaVind.

[http://www.windpower.org/media\(2354,1030\)/vindkraftv%c3%a6rker\\_i\\_energisystemet.pdf](http://www.windpower.org/media(2354,1030)/vindkraftv%c3%a6rker_i_energisystemet.pdf)

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



# Vindkraftværker i energisystemet

Danmarks fremtid som  
kompetencecentrum for vindkraft



FOTO: LM GLASFIBER A/S

## 1 **Anbefalinger og initiativer**

Udviklingen af fremtidens intelligente energisystem kræver en fælles branchemæssig og politisk indsats. Vindmøllerbranchen er klar til at udvikle løsningerne, men det kræver at politikerne påtager sig ansvaret og skaber rammerne, som gør udviklingen mulig. Fremtidens forsyningssikkerhed afhænger af, at begge sider løfter ansvaret. Det er Megavinds ambition at udvikle projekter på tværs af branchen, der kan bidrage til at skabe fremtidens intelligente løsninger for storskala integration af vindkraft. På den baggrund vil Megavind tage initiativ til:

- Ved udgangen af 2008 at have påbegyndt udviklingen af et projekt indenfor hvert af de strategiske forsknings og demonstrationsområder der udpeges i nærværende rapport.

Forudsætningen for at gennemføre disse projekter er at der skabes mulighed for at demonstrere og udvikle teknologien her i landet. Derfor anbefaler Megavind at der:

- Etableres en ny national prøvestation til med 5-10 prøve pladser inden 2010.
- Skabes en statslig og regional indsats i samarbejde med industrien for at finde placeringer til mindst 2 individuelle, fabrikantdrevne afprøvningsområder til prototyper samt udarbejdes en samlet plan for 0 serie-demonstration frem mod 2020<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> For uddybning af disse anbefalinger (se rapporten "Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft – afprøvning og demonstration af vindmøller").

## 2 Indledning

---

Med EU's målsætning om 20% vedvarende energi i 2020 kommer der for alvor gang i markedet for vedvarende energi. Samtidig skal der satses på både den fysiske og markedsmæssige udvikling af de enkelte landes energisystemer og de transnationale forbindelser. Vindkraft forventes at komme til at spille en helt central rolle i arbejdet for at opnå den europæiske målsætning i 2020. Fra 3,3% af det europæiske elforbrug forventes det, at vind vil udgøre omkring 25% af det samlede europæiske elforbrug i 2030 ([www.ewea.org](http://www.ewea.org)). Denne dramatiske stigning kræver nye løsninger til de europæiske energisystemer og Danmark har den helt rigtige position til at udvikle dem.

Danmark er kompetencecentrum for vindkraft, og med 20% af det danske elforbrug dækket af vindkraft er vi suverænt det land i verden med flest erfaringer med systemløsninger. Det giver os en unik mulighed for at udvikle og afprøve nye teknologier og metoder til verdensmarkedet.

Udvikling af nye systemløsninger og teknologier i Danmark vil både bidrage til at skabe bedre integration af vindkraft i det danske energisystem og skabe nye internationale forretningsområder for danske virksomheder. Vi har muligheden for at gå forrest og demonstrere intelligente systemløsninger, der sikrer, at vindkraftens positive egenskaber udnyttes, og viser at vindkraft kan bidrage aktivt til systemintegration i fremtidens fleksible energisystem.

Denne Megavind rapport fokuserer på vindmøller og vindmølleparkers egenskaber i forhold til systemintegration. Der er dog en række forudsætninger som ikke behandles i rapporten, men som er vigtige at gøre opmærksom på indledningsvist.

Først og fremmest kræver storskala integration af vindkraft – og at enhver anden energiteknologi – et energisystem med velfungerende samspil mellem energiteknologierne baseret på et veludbygget fysisk net. Derudover spiller et velfungerende marked på EU niveau en helt afgørende rolle. Ved at sikre dette kan f.eks. landespecifikke problemstillinger som eloverløbsproblematikken løses.

Et utroligt vigtigt produkt af demonstrations- og forskningsprojekter inden for de prioriterede områder i denne rapport er, at de bidrager til at tiltrække og uddanne kandidater (eksperter) med de kompetencer som er nødvendige til udviklingen af fremtidens energisystem.

## Baggrund for rapporten

Partnerskabet Megavind blev dannet i 2006 som en udløber af regeringens redegørelse om fremme af miljøeffektiv teknologi fra maj 2006.

Styregruppen består af repræsentanter fra Vestas Wind Systems A/S, Siemens Wind Power A/S, DONG Energy, Balluff ApS, Danmarks Tekniske Universitet, Forskningscenter Risø-DTU, Aalborg Universitet, Energinet.dk og Energistyrelsen.

Megavind fremlagde i 2007 en strategi med en række konkrete anbefalinger, der skal styrke Danmark som kompetencecentrum for vindkraft. Det ene spor i Megavinds arbejde er at formulere en samlet strategi for validering, afprøvning og demonstration.

Derfor er der blevet nedsat tre arbejdsgrupper inden for dette spor i regi af Megavind for:

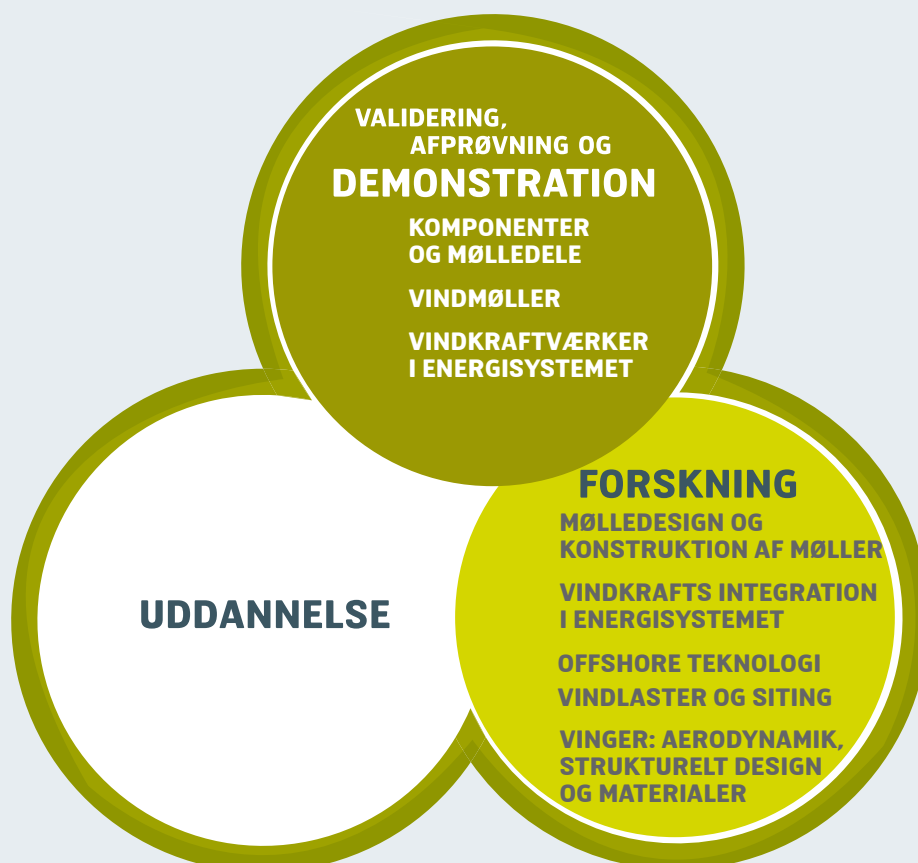
- 1) komponenter og mølledele
- 2) vindmøller og vindmølleparker
- 3) vindkraftværker i energisystemet

Denne rapport er resultatet af arbejdsgruppe 3 om vindkraftværker i energisystemet. Arbejdsgruppen består af:

- |  |   |
|--|---|
| - Jan Havsager, Energinet.dk                     | - Jesper Runge Kristoffersen, Vattenfall          |
| - Troels Sørensen, DONG Energy                   | - Erik Koldby, ABB                                |
| - Philip Carne Kjær,<br>Vestas Wind Systems A/S  | - Jacob Østergaard, DTU Elektro                   |
| - Jan Thisted, Siemens Wind Power A/S            | - John K. Petersen, Aalborg Universitet           |
| - Björn Andresen, Gamesa Wind<br>Engineering ApS | - Poul Sørensen,<br>Forskningscenter Risø, DTU    |
| - Jørgen Højstrup, Suzlon Energy A/S             | - Rosa Klitgaard Andersen,<br>Vindmølleindustrien |

**Figur 1**

Megavinds samlede strategi.  
Denne rapport beskæftiger sig med vindkraftværker i energisystemet.







### 3 Fuldskala demonstration er en nødvendighed

Hvis de danske politiske målsætninger for vindkraft skal realiseres er det nødvendigt både at udvikle vindmølleteknologien og det danske energisystem med mere intelligente løsninger. Men det er helt afgørende at der skabes mulighed for at verificere og demonstrere løsningerne her i landet. Derfor skal der udpeges nye områder, hvor de nyeste møller kan udvikles og testes i samspil med energisystemet.

#### Nye nationale prøvestationer

Fuldskala demonstrations sites i form af nye nationale prøvestationer er en vigtig forudsætning for at gennemføre projekter inden for de strategiske forsknings- og demonstrationsområder, som beskrives i denne rapport. Hvis ikke vindmøllebranchen får mulighed for at udvikle, verificere og demonstrere nye vindmøller og nettilslutningsteknologier i fuld skala, så kan det ikke lade sig gøre at skabe de nødvendige løsninger her i landet. Det handler om at komme først, og hvis ikke vi stiller demonstrationspladser til rådighed på nationale prøvestationer i Danmark, så er der andre der gør det. Vi bliver nødt til at handle nu, ellers flytter udviklingen og arbejdspladserne til udlandet.

Derfor anbefaler Megavind at der som minimum etableres en ny national prøvestation med 5-10 prøve pladser inden 2010.

De nationale prøvestationer er en af forudsætningerne for at branchen kan demonstrere og udvikle intelligente systemløsninger, verificere at møllerne og vindkraftværkerne opfylder de nettekniske betingelser mv. Et område, der i stigende omfang er blevet et krav på det internationale marked. Nationale prøvestationer kan således bl.a. bruges til at udvikle en lang række demonstrations, udviklings og forskningsprojekter, med udgangspunkt i de strategiske forsknings og demonstrationsområder som præsenteres i denne rapport.

Det er afgørende, at der i prøvestationerne indgår anlæg for fuldskala test for netfejl for de enkelte møller og grupper af møller. Denne type fuldskala test af vindmøller i forbindelse med netfejl er allerede i dag et krav i f.eks. Storbritannien.

Der er behov for demonstration og test i et kontrolleret miljø med gode adgangsforhold, og derfor er det vigtigt at de nationale prøvestationer bliver placeret på land. Et offshore miljø er stort set umuligt at arbejde med i forhold til test, blandt andet fordi møllerne er meget svært tilgængelige, hvilket gør det ekstremt omkostningsfuldt og tidskrævende.

### **Branchens samlede behov for afprøvning og demonstration**

Nye nationale prøvestationer vil imødekomme en række af branchens behov, men derudover er det helt afgørende for virksomhedernes udviklingsaktiviteter og konkurrencekraft, at branchen har adgang til i større omfang at afprøve og demonstrere den nyeste mølleteknologi i nærheden af industriens udviklingsafdelinger. Dette demonstrationsbehov er blevet analyseret af arbejdsgruppen vindmøller og vindmølleparker under Megavind. Gruppen anbefaler bl.a.:

- En statslig og regional indsats i samarbejde med industrien for at finde placeringer til mindst 2 individuelle, fabrikantdrevne afprøvningsområder til prototyper.
- En ny statslig screening af områder og en samlet plan for 0 serie-demonstration frem mod 2020 bør være gennemført senest i 2010.

De samlede anbefalinger for branchens demonstrationsbehov præsenteres i rapporten "Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft – afprøvning og demonstration af vindmøller" der kan downloades på [www.windpower.org/megavind](http://www.windpower.org/megavind).





Indenfor de følgende forsknings- og demonstrationsområder ser Megavind særlige muligheder og udfordringer i forhold til storskala integration af vindkraft i energisystemet. For hvert område er der lokaliseret en række mulige udviklingsprojekter, som arbejdsgruppen vil udvikle i løbet af efteråret 2008.

### 4.1 Systemydelser fra møller og mølleparker

Møller og mølleparker har en række tekniske muligheder for at bidrage langt mere aktivt til energisystemet, end det er tilfældet i dag. Elproduktionen er stadig den primære værdi af vindmøller, men egenskaber i forhold til effekt og regulering bliver mere og mere vigtig i forhold til det samlede energisystem. Møllernes værdi i energisystemet kan i høj grad øges, så de også spiller en aktiv rolle i forhold til op- og nedregulering mv. Det kan blandt andet gøres ved at udvikle følgende områder:

- Styring og netaktiviteter i decentraliseret system/ødrift
- Opstart ved blackout
- Frekvensstøtte
- Optimering af drift i forhold til spidslastperioder
- Regulerkraft

Ved en bedre udnyttelse af disse egenskaber og værdisættelse af ydelserne kan både enkeltmøller og mølleparker i høj grad bidrage til storskala integration af vindkraft i energisystemet. For at kunne verificere de udviklede metoder, er der behov for både praktiske demonstrationsprojekter og teoretiske studier af de økonomiske aspekter, responstider mv.

#### Mulige udviklingsprojekter

Der kan skabes en lang række relevante udviklingsprojekter indenfor disse områder, med den fælles overskrift "Hvordan kan møllerne udvikles, så de spiller aktivt ind i forhold til systemet". Det kan f.eks. være:

- Analyse af optimal driftstrategi for vindmøller, analyseret i sammenhæng med hele energisystemet, regulerkraftmarkedet, spidslastperioder mv.
- Cost benefit analyse af drift ved lave og høje vindhastigheder, samt regulering af møller ved normaldrift i forhold til op- og nedregulering når forbruget ændrer sig.
- Systemydelser på både produktionssiden (ekstreme vindforhold) og forbrugssiden (spidslastperioder).

Der vil være tale om både økonomiske og systemmæssige analyser, samt test af hvad der kan lade sig gøre fysisk for møllen. De udviklede systemer skal testes og verificeres i fuldskala.



## 4.2 Vindmøller styret som et kraftværk

Styring af vindmøleparker og enkeltmøller som samlet kraftværksenhed er en vigtig brik i arbejdet for at vindkraft kan bidrage både økonomisk og systemmæssigt til systemintegration. Ved at udvikle bedre styringsredskaber får de systemansvarlige virksomheder langt bedre muligheder for at udnytte møllernes positive egenskaber i samspil med de øvrige kraftværksenheder. Store områder med flere forskellige mølletyper skaber i høj grad behov for fælles infrastruktur for kommunikation med de enkelte møller, så de kan styres centralt. Følgende områder er særlig vigtige at udvikle:

- Standardiseret infrastruktur for kommunikation og kommunikationsinterface imellem møller og møleparker, der muliggør udveksling af data imellem forskellige virksomheder og produkttyper<sup>2</sup>.
- Automatiseret styring
- Multiopsummeret drift med fokus på at skabe højere pålidelighed for vindkraft som energikilde, f.eks.
  - overvågning, reguleringsmuligheder
  - spændingsregulering og frekvensregulering
  - Fault Right Through (FRT)
  - nye metoder til drift
- Viden omkring møllernes interaktion, i normaldrift og i fejlsituationer.
- Modellering af gensidige påvirkninger mellem vindmøller og net ved højere frekvenser og under transiente forløb.

Derudover er forskning i bedre forudsigelser af vindkraftproduktionen (både langtids og korttids) afgørende for at øge stabiliteten og værdien af vindkraft i systemet<sup>3</sup>.

### Mulige udviklingsprojekter

Alle de nævnte områder åbner for relevante forsknings- udviklings- og demonstrationsprojekter, men det vil være særligt interessant at gennemføre et demonstrationsprojekt, som udvikler styring af vindmøller som et virtuelt kraftværk. Et sådant projekt kan være med til at give de systemansvarlige et værktøj til at styre vindenergiproduktionen mere effektivt end i dag. En af de store udfordringer i et dette projekt vil være at skabe et system, der kan balancere effekten over store områder, samtidig med at der tages hensyn til det lokale reguleringsbehov på distributionsniveau.

---

2 Dette arbejde bør være internationalt. I IEC regi er der allerede foretaget flere undersøgelser om en standard på området, der kan bruges som udgangspunkt for arbejdet.

3 Behandles i rapporten "Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft" samt Megavinds forskningsanbefalinger "Strategiske indsatsområder for forskning, udvikling og demonstration indenfor vindenergi".

### 4.3 Udvikling og standardisering af modeller for simulering af møllens egenskaber i nettet samt modeller for netberegning

Forbedrede modeller for simulering af møllens egenskaber i systemet vil give nye muligheder for at udvikle det samlede energisystem. Pt. eksisterer der kun specifikke modeller for bestemte mølletyper, der oftest ikke kan spille sammen. Det gør det svært at forudse, hvad der sker når møllerne kommer i drift, både i forhold til nettet og møllens egenskaber, hvilket kan gøre det vanskeligt at give tilladelse til at koble møllen på nettet.

Derfor er der behov for standardiserede metoder og modeller der kan bruges til den type analyse og anvendes på forskellige mølleteknologier. Beregningsmodellerne skal kunne analysere alle driftssituationer, normaldrift, fejlsituationer, spidsbelastning mv., dvs. kort sagt samspillet mellem vindmøller og energisystemet i alle tænkelige situationer.

Sådanne modeller er utrolig vigtige, ikke kun i Danmark, men i hele Europa. Modellerne vil udgøre en afgørende baggrund for at analysere hvor meget vindkraft der rent faktisk kan integreres i det europæiske system, så de systemansvarlige virksomheder kan vurdere vindkraft på et kvalificeret grundlag.

#### Mulige udviklingsprojekter

Megavind anbefaler, at der skabes et udviklingsprojekt som har til formål at udvikle generiske standardiserede modeller for de forskellige mølletyper med dette formål, der skal kunne bruges på tværs af møllefabrikanterne.

Projektet skal definere hvilke komponenter der er behov for i en standardiseret model for beregning af møllens egenskaber i nettet. Arbejdet bør tage udgangspunkt i de områder der i dag kan standardiseres, således at man tager udgangspunkt i fællesnævnerne og så kan de mere avancerede spørgsmål evt. vente.

Standardiseringen skal foregå på internationalt niveau, men Megavind anbefaler at Danmark går forrest og skaber udgangspunktet for at udvikle denne standard. Et internationalt studie og samarbejde skal bidrage til at definere hvad modellerne skal kunne bruges til samt hvordan teknikken valideres.

Arbejdet skal foregå som præstandardiseringsarbejde og de modeller der udvikles skal spille ind til de internationale standarder der udarbejdes i IEC<sup>4</sup>.

Indhold af modellerne skal blandt andet være:

- Krav til modelvalidering.
- Analyse af hvilken type modeller der skal bruges og hvilken type analyse de kan bruges til.
- Modellerne skal passes ind i eksisterende netberegningværktøjer.
- Standardiserede modeller skal kunne bruges til certificering af elektrisk performance og "best practice" for certificering.
- Der skal udvikles modeller og strukturer som kun er afhængige af standardiserede input fra leverandørerne, så der skabes mulighed for sammenligning.



## 5

## Samspil og koordinering med andre teknologier

Allerede i dag findes der en række mølleeksterne teknologier, der kan bidrage til en væsentligt bedre integration af vindkraften. Udviklingen af disse teknologier kommer til at spille en vigtig rolle i fremtidens energisystem. Derfor er det utrolig vigtigt, at vi allerede nu kommer i gang med at udnytte de tilgængelige teknologier. Der er særligt behov for fleksibilitet i energisystemet, når andelen af vindkraft i hele Europa stiger i de kommende år.

De vigtigste teknologier er:

- Varmeproduktion med elektricitet fra vindmøller
- Elektrificering af transportsektoren, med særligt fokus på elbiler
- Intelligent energiforbrug i husholdninger og industri

Det er ovenstående 3 områder skal der satses på allerede nu men desværre findes der en række afgiftsmæssige strukturer som er uhensigtsmæssige og bremser udnyttelsen af teknologierne. Derfor er det nødvendigt at der tages politisk initiativ til en kritisk gennemgang af den eksisterende afgiftsstruktur, med det formål at fjerne de afgiftsmæssige barrierer og i stedet opbygge et afgiftssystem, der understøtter brugen af ovenstående teknologier.

I arbejdet med at udvikle ovenstående teknologier er det utrolig vigtigt, at de enkelte teknologier designes, så de spiller optimalt sammen med vindkraften, for at sikre at potentialet udnyttes fuldt ud.

På længere sigt er der også behov for at udvikle yderligere lagringsteknologier, der kan sikre vindkraft en rolle som stabil kraftværksproduktion. Det kan f.eks. være ting som brændselsceller, brint, trykluftlagre, batterier mv. Men storskala udvikling af disse områder kræver at teknologierne bliver mere energieffektive, og at markedet udvikler sig, så der er økonomi i projekterne.

## DANSK FORSKNINGS KONSORTIUM FOR VINDENERGI

Samarbejde imellem de førende forskningsinstitutioner indenfor vindkraft i Danmark.

## VINDKRAFTNET

Højteknologisk netværk etableret i et samarbejde mellem Dansk Forskningskonsortium for Vindenergi og Vindmølleindustrien.

Megavinds organisation samt centrale netværk indenfor vindkraftforskning i Danmark.

# MEGAVIND

## STYREGRUPPE

### VALIDERING, AFPRØVNING OG DEMONSTRATION

Komponenter og mølledele (selvstændig projektgruppe ledet af DTU)

### FORSKNING

Vindmøller og vindmølleparker (arbejdsgruppe under Megavind)

Vindkraftværker i energisystemet (arbejdsgruppe under Megavind)

## SEKRETARIAT

Vindmølleindustrien

## DANSK SELSKAB FOR VINDENERGI

Faglig og videnskabelig forening for vindkraftsektoren i Danmark.



**MEGAVIND**

**Sekretariat Vindmølleindustrien**

---

Vester Voldgade 106

DK-1552 København V, Danmark

Tel: +45 3373 0330

Fax: +45 3373 0333

E-mail: [danish@windpower.org](mailto:danish@windpower.org)

[www.windpower.org/megavind](http://www.windpower.org/megavind)

Forsidebillede: Vindmølleindustrien